実用技術紹介

中小企業による移動サービスロボットの製品化を容易にするT型ロボットベース

坂下　和広[*1]　村上　真之[*1]　小林　祐介[*1]　佐藤　研[*1]
益田　俊樹[*1]　谷津　明[*2]　前田　政昭[*2]　奥住　功[*2]
([*1](地独) 東京都立産業技術研究センター
[*2](株) システムクラフト)

1. はじめに

東京都立産業技術研究センター（以下，都産技研）は，中小企業の技術支援を目的として東京都が設置した公設試験研究機関である．2020年東京オリンピック・パラリンピックに向け，「ロボットによるおもてなし」の開発需要の拡大を見込み，多言語対応の自律移動案内ロボットを先行開発するなど，中小企業へのサービスロボット事業化支援に精力的に取り組んでいる．都産技研では，ロボットベースの活用が中小企業のサービスロボット事業参入に役立つと考え，2011年からT型ロボットベースの研究開発を行っている．ロボットベースとは，移動サービスロボットの駆動台車部分のモジュールであり，T型ロボットベースは，都産技研の技術によって開発されたプロトタイプの名称である．

株式会社システムクラフトは，電子機器ハードウェア開発および組込ソフトウェア開発を主事業とする都内のエンジニアリング会社である．都産技研との共同研究開発により，T型ロボットベースを製品化し，SCIBOTの商品名で2014年10月から販売している．

都産技研のロボット産業活性化事業（2015～2019）の下で新たに開発したT型ロボットベース・タイプN（以下，タイプN）は，ロッカーボギーとよばれるサスペンション機構を導入することによって，従来のT型ロボットベースの課題であったスロープや段差の走破を可能にした．本稿では，タイプNの独自技術およびその製品版であるシステムクラフト製SCIBOT-Xシリーズを紹介する．

2. T型ロボットベースの狙い

商用の移動サービスロボットには，移動知能や会話知能など高度なソフトウェアに加え，性能と安全性，使用場所に相応しいデザイン性が要求される．リソースの少ない中小企業にとっては，移動サービスロボットの製品開発は負担が大きい．**図1**に自律移動案内ロボットに使用される部品の例を示す．走行用コントローラ，モータ，車輪，エンコーダ，バッテリは，移動ロボットの共通部であり，ロボットの許容重量を定めれば，これらをモジュール化できる．走行性能，信頼性，安全性の面で完成されたロボットベースを提供できれば，ソフトウェア専門やデザイン専門の中小企業でもサービスロボット事業参入が容易となる．

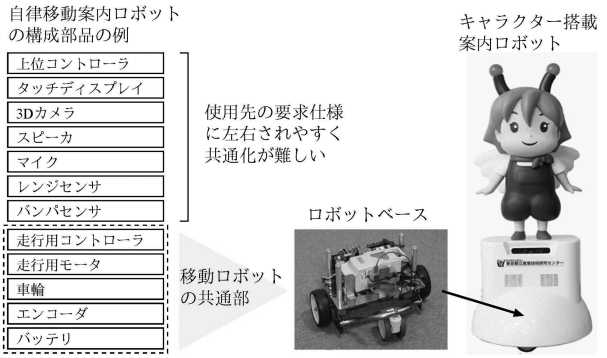

図1　移動サービスロボットとロボットベースの関係

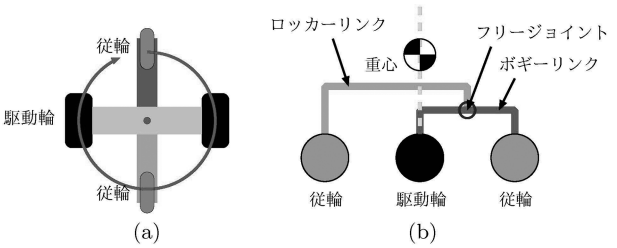

図2　タイプNの4輪ロッカーボギー機構 [2]

人との対話が中心の移動サービスロボットは，機体を回転させて対話する方向に向きを変える動作が多い．そのため，T型ロボットベースでは旋回性能を重視し，従来から**図2**(a)のようにロボットの中央に駆動輪を配置している．この車輪配置により，ロボットが最小の旋回半径で回転し，ロボットの重心がその場回転の中心と同じ鉛直線上にあるとすれば，最小のモーメントで回転できる．

3. タイプNの独自技術による従来課題の解決

3.1 不整地走行

屋内施設であっても，床に凹凸のない走行エリアをもつ空間は限られている．図2(a)の車輪配置の場合，凹凸のある床面では駆動輪が浮いて身動きができなくなるため，従来では，駆動輪が床面に接触するように車輪とフレームの間にバネを入れる方法や，従輪と床の間に遊びをもたせる方法に頼っていた．しかし，走行時にロボット全体が揺れ，ロボットの筐体に取り付けたカメラやセンサ類からデータを安定的に取得できない問題があった．

その解決方法として，NASAの火星探査車に使用されたロッカーボギーによるサスペンション機構[1]を応用した．本来，ロッカーボギー機構は6輪であるが，タイプNでは，4輪のロッカーボギー機構を開発し（図2），構造的に各車輪から均等な荷重が床面に加わるようにしている．また，ロッカーボギー機構は，大きな段差やスロープを走破する反面，ロボットの発進時にボギーリンクの従輪が浮き

上がる挙動を生じさせるため，図 2 (b) のフリージョイントを駆動輪の軸より低く配置し，その挙動を抑えている．

3.2 汎用 PC からの保護停止

図 1 の上位コントローラのハードウェアには，汎用 PC がよく用いられる．ロボットベースの制御部と上位コントローラが互いに独立して，動力遮断による保護停止を実行できれば，走行に伴うリスクの低減が期待できる．しかし，汎用 PC では，保護停止に利用できるポートが LAN と USB に限られている．保護停止用の通信系の増設は，部品コストとシステムの故障率の増加を招く．

その解決方法として，USB インタフェースを活用した安価な保護停止機能を考案した [3]．T 型ロボットベースは，上位コントローラとの制御通信に USB を用いている．上位コントローラは，USB のサスペンドコマンドを用いて，ロボットの保護停止を発動する．タイプ N の制御基板には，サスペンド時のバスのアイドルを検出する回路を追加し，その検出回路が動力を直接遮断する．

3.3 故障発生時のロボットの振る舞い

移動サービスロボットに故障が発生したとき，即座に停止することが必ずしも適切ではない．例えば，通路の端に寄せて停止するなど，周囲の状況に応じた動作を介して停止できれば実用的である．その方法として，文献 [4] で提案した冗長化技術を応用した．上位コントローラのソフトウェアが，故障発生時のロボットの動作を逐次計算し，冗長モーションデータとして制御周期ごとにタイプ N に送信する．タイプ N は，上位コントローラとの制御通信が正常であれば，前回受信した冗長モーションデータを破棄し，最新のものを保持する．所定の周期で正常に受信しない場合，前回受信した冗長モーションデータに基づいてロボットを動作させ，最終的に停止する．

4. タイプ N の製品化に向けた都産技研の取り組み

都産技研では，7 人体制（機構 2 人，電気系 2 人，検証 2 人，統括 1 人）で約 50 人月の工数をかけてタイプ N を開発した．ロボットベース単体の評価では，他社のロボットベース製品を 2 台購入し，走行性能と耐久性に関する比較試験を行った．ロボットベースは，ロボット本体に組み込まれて使用されるため，都産技研が開発している移動案内ロボットを用いてシステムレベルでも評価した．リスクアセスメントのフェーズでは，JIS B 8446-1 [5] の要求事項に従い，第三者の認証機関による評価を受けた．リスクアセスメントとその結果に基づいた設計のノウハウをシステムクラフトに引き継ぐ作業を行った．

5. SCIBOT-X シリーズ

システムクラフトでは，タイプ N を量産向けにアレンジし，製造試作機を製作した．温湿度および振動の環境試験と EMC 試験を行い，設計と製造に問題ないことを確認し，2017 年 4 月に SCIBOT-X シリーズとして販売開始した．SCIBOT-X シリーズには，バッテリの配置が異なる XM（**図 3**）と XW がある．主な仕様を**表 1** に示す．現在，SCIBOT-X シリーズが組み込まれた案内サービスロボットが開発されており，今年度内には百貨店や美術館で稼働する予定である．

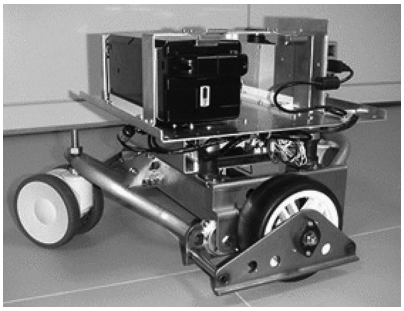

図 3 SCIBOT-XM の外観

表 1 SCIBOT-X シリーズの仕様

寸法	485(W)×570(D)×285(H) mm
重量	12.1 kg (バッテリ 2 個搭載時)
駆動輪直径	125 mm
バッテリ	リチウムイオン (25.2 V, 5.3 Ah)
最大積載重量	20 kg
最高速度	6 km/h
許容傾斜角度	10°
許容段差	20 mm

6. お わ り に

本稿で紹介したタイプ N の実用化は，ロボット産業活性化事業の「平成 27 年度公募型共同研究開発事業」によるものである．ロボット産業活性化事業では，T 型ロボットベースの技術および SCIBOT-X シリーズを使用した案内・搬送・介護用途の移動サービスロボットが開発中であり，それらの実用化に今後注目してほしい．

参 考 文 献

[1] R.A. Lindemann and C.J. Voorhees: “Mars exploration rover mobility assembly design, test and performance,” Proc. IEEE Int. Conf. Syst., Man, Cybern., vol.1, pp.450–455, 2005.

[2] 坂下和広，森田裕介，益田俊樹，小林祐介：ロッカーボギー，PCT/JP2016/059352, 2015.

[3] 村上真之：緊急停止方法，緊急停止システム及びその自己診断方法，特開 2016-146184，2015.

[4] M. Murakami: “Fault tolerance design for computers used in humanoid robots,” Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. Intell. Robot. Syst., pp.2301–2307, 2007.

[5] JIS B 8446-1，生活支援ロボットの安全要求事項—第 1 部：マニピュレータを備えない静的安定移動作業型ロボット，2016.